

ВЫГУЗОВА Мария Анатольевна

**РАЗРАБОТКА БИОТЕХНОЛОГИИ И УСТАНОВКИ ДЛЯ
ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО
ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ КАЛИФОРНИЙСКОГО ЧЕРВЯ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена на кафедре «Технологии и оборудование пищевых и перерабатывающих производств» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Ижевская государственная сельскохозяйственная академия" (ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА)

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Касаткин Владимир Вениаминович

Официальные оппоненты: Мартынов Владимир Михайлович, доктор
технических наук, доцент, кафедра техноло-
гического оборудования животноводческих и
перерабатывающих предприятий ФГБОУ
ВПО Башкирский ГАУ, заведующий кафед-
рой

Лаврова Лариса Юрьевна, кандидат техни-
ческих наук, доцент, ФГБОУ ВПО Уральский
федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина, кафедра
«Процессы и аппараты химической техноло-
гии», доцент

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное обра-
зовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-
Петербургский государственный аграрный университет»

Защита состоится 17 декабря 2013 г. в 14⁰⁰ часов на заседании диссертаци-
онного совета ДМ 220.003.04 при ФГБОУ ВПО Башкирский ГАУ по адресу:
450001, г. Уфа, 50-летия Октября, 34, ауд. 257/3

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО Баш-
кирский ГАУ

Автореферат разослан «___» ноября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



С.Г. Мударисов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время перед молочными фермами и свиноводческими хозяйствами стоит ряд проблем, например, утилизация навоза. Вносить прямо в почву навоз нельзя. Свежий навоз богат растворимыми соединениями азота и оказывает такое же действие, как растворимые минеральные удобрения, то есть вызывает усиленный рост листьев и стеблей, но это не всегда означает увеличение урожая. Также, растения, удобренные свежим навозом, становятся более чувствительными к болезням и вредителям. Кроме того, свежий навоз быстро разлагается, поэтому он не способствует созданию устойчивого плодородия земель. Поэтому навоз подвергают компостированию, но этот процесс очень долг по времени.

С этой проблемой можно эффективно справиться с помощью компостирования с использованием дождевых червей. Черви делают процесс преобразования органического материала более интенсивным, также происходит активная минерализация органического вещества. Высвобождаются такие биологически активные вещества, как фосфор и калий. Компостирование с помощью дождевых червей приводит к образованию особой структуры почвы. Компост содержит питательные вещества в форме, наиболее благоприятной для питания растений. Кроме того, его можно вносить в любой дозе.

По санитарным нормам вермикомпост абсолютно безвреден для выращивания овощей и фруктов. Вермикомпостирование продемонстрировало достаточно быстрое снижение концентрации патогенных организмов, чтобы удовлетворить требованиям наивысшего стандарта класса "А" (самый высокий класс требований США "Process to Further Reduce Pathogens" - PFRP).

На федеральном уровне значительное развитие данной тематике должна дать государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы.

Степень разработанности. Теоретические вопросы, посвященные переработке отходов с помощью дождевых червей рассматривали такие отечественные ученые как Городний Н.М., Дондокова Д.Е., Игонин А.М., Мамеева В.Е., Мельник И.Н., Морев Ю.Б. и др.; иностранные ученые: Delgado M., Elvira S., Garg P., Suthar S. и др.

На основе анализ их работ установлено, что для совершенствования процесса вермикомпостирования необходимы как конструкторские, так и технологические разработки.

Цель работы. Повышение эффективности процесса производства биогумуса с помощью красных калифорнийских червей.

Задачи исследований:

1. Разработать технологию вермикомпостирования навоза с помощью красных калифорнийских червей вида *Eisenia foetida*;

2. Разработать модель технологического процесса вермикомпостирования отходов;

3. Исследовать технологический процесс работы и основные технологические режимы установки;

4. Определить экономическую эффективность разработанной технологии.

Объект исследований. Технологический процесс работы установки для переработки отходов и сырья сельскохозяйственного производства.

Предмет исследований. Закономерности работы вермиореактора для переработки отходов сельскохозяйственного производства.

Научная новизна:

- разработан способ производства биогумуса с применением инфракрасного излучения;

- разработана математическая модель процесса вермикомпостирования отходов на основе решения задачи тепломассопереноса с учетом биомассы червей и воздействия инфракрасного излучения;

- обоснованы начальные и граничные условия математической модели процесса вермикомпостирования отходов.

Новизна способа защищена патентом № 2493139 РФ.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- технология вермикомпостирования навоза с помощью красных калифорнийских червей;

- математическая модель процесса вермикомпостирования, позволяющая рассчитать параметры и спроектировать промышленное оборудование требуемой производительности;

- технологические параметры установки вермикомпостирования и режимы работы инфракрасного излучателя для нагрева субстрата;

- результаты диссертационной работы применяются в учебном процессе ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА и частном хозяйстве ИП «Каюмов И.З.» Можгинского района Удмуртской Республики.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Технология вермикомпостирования навоза и использованием красных калифорнийских червей вида *Eisenia foetida*;

2. Математическая модель технологического процесса вермикомпостирования отходов;

3. Закономерности температурного воздействия на показатели выхода готового продукта;

4. Техничко-экономическая эффективность разработанной технологии.

Вклад автора в проведенное исследование. Модели, схемы, результаты численных и экспериментальных исследований, их анализ и интерпретация, представленные в диссертации, получены автором лично. Выбор приоритетов, направлений, методов исследования, формирование структуры и содержания

работы определены совместно с научным руководителем. Макет установки, используемый при экспериментальных исследованиях, разработаны коллективом кафедры «Технологии и оборудование пищевых и перерабатывающих производств» при активном участии автора.

Апробация работы. Основные положения работы доложены на научно-практических конференциях: Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Проблемы инновационного развития АПК» 20-21 декабря 2009 г.; Всероссийская научно-практическая конференция «Научное обеспечение развития АПК в современных условиях» 15-18 февраля 2011 г.; Всероссийский конкурс научных работ в области возобновляемых источников энергии «Стипендия BELLONA – 2011» - Санкт-Петербург, 2011 г.; II этап Республиканского конкурса инновационных проектов «УМНИК» (выигран грант); III Евразийский Экономический Форум Молодежи, «Инновационная Евразия», «Лучший Green Project» (диплом II степени); Международная выставка инноваций и промышленности «ИННОПРОМ-2012», г. Екатеринбург; Финал конкурса «Лаврентьевский прорыв», г. Новосибирск, 2012 г.; Круглый стол «Зелёная экономика»: опыт реализации и перспективы развития. Устойчивое развитие территорий и продовольственная безопасность», г. Белокуриха, Алтайский край, 2012 г.; IV Евразийский экономический форум молодежи, «Евразия – энергия будущего», «Eurasia Green» (Диплом II степени); Международный эколого-туристический конвент Эко-Ладога-2013, Ладожское озеро, 2013 г., Республиканский конкурс «10 лучших инновационных проектов студентов», 2013 г.

Публикации: По материалам диссертации опубликовано 15 трудов, из них 4 статьи в научных журналах, входящих в Перечень... ВАК, один патент на изобретение. Общий объем публикаций составляет 4,38 п.л., из них автору принадлежит 3,05 п.л.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Объем работы составляет 136 страницы основного текста, 36 рисунков, 11 таблиц и 5 приложений. Список литературы включает 160 наименований, из них 22 на иностранном языке.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложена актуальность проблемы, цель, задачи, научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе «Анализ состояния вопроса» на основе анализа научных и литературных источников исследуется проблема утилизации навоза в сельскохозяйственном производстве. Показана роль дождевых червей в процессе переработки навоза в ценное органическое удобрение – биогумус.

Вермитехнология позволяет эффективно решать проблему утилизации навоза в сельскохозяйственном производстве, повышения плодородия почв,

производство качественных органических удобрений. Поэтому целесообразно разрабатывать энергосберегающие установки для производства биогумуса непрерывного действия, а также технологии, позволяющие получать высококачественное удобрение и биомассу червей.

Рассмотрены технологии и установки мировых и отечественных производителей установок для вермикомпостирования.

Проведенный анализ позволил установить:

- использование и развитие технологии вермикомпостирования является актуальной задачей, как в России, так и за рубежом;
- в результате процесса вермикомпостирования получаемый биогумус можно использовать как ценное органическое удобрение, а биомассу червей в качестве белковой добавки к корму животных;
- для совершенствования процесса вермикомпостирования необходимы как конструкторские, так и технологические разработки;
- анализ существующих технологий вермикомпостирования позволили выявить ряд существенных недостатков, в результате которых снижается эффективность производства;
- исходя из приведенной классификации, предполагаем, что наиболее перспективными являются установки для вермикомпостирования непрерывного действия.

Во второй главе «Теоретическое исследование технологии и технических средств утилизации отходов в сельскохозяйственном производстве» представлено теоретическое исследование процесса вермикомпостирования с использованием инфракрасного нагрева и приведено обоснование технологического процесса.

Разработана структурная схема линии по переработке навоза с помощью красных калифорнийских червей (рисунок 1).

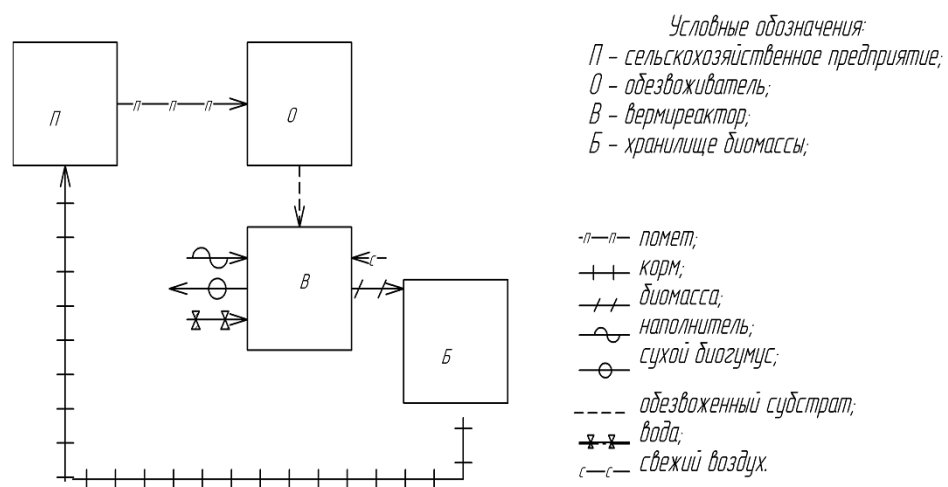


Рисунок 1 – Структурная схема линии по переработке навоза

Перед вермикомпостированием выполняется подготовка субстрата к переработке, которая заключается в снижении влажности путем внесения наполнителя, в качестве которого может быть использована солома, костра, опилки или торф. Вермикомпостирование осуществляется за счет жизнедеятельности червей, поэтому масса, находящаяся в вермиреакторе, должна обеспечиваться благоприятными условиями для их жизни. Такими условиями являются: влажность, температура, кислотность, доступ воздуха и рыхлость субстрата. Подогрев и нагнетание воздуха осуществляется компрессором с теплообменником и увлажнителем. В результате работы вермиреактора получаем ценное удобрение и биомассу червей, которую после соответствующей доработки предполагается использовать в качестве корма.

Была разработана технология вермикомпостирования с помощью красных калифорнийских червей вида *Eisenia foetida*.

Технической задачей, на решение которой направлена разработка, является увеличение производительности установки, снижение энергозатрат, получение биогазуса с высоким содержанием микроэлементов, а также создание условий для размножения красных калифорнийских червей для их дальнейшего использования на кормовые и пищевые цели.

Поставленная задача достигается в способе производства биогазуса, включающем в себя вермикомпостирование субстрата с использованием красного калифорнийского червя *Eisenia Foetida* в количестве 250 тыс. шт. на 1 м³, причем в качестве субстрата используют навоз крупного рогатого скота, предварительно нейтрализованный до pH 7-8, при этом процесс вермикомпостирования проводят при температуре 15-25⁰С, влажности субстрата 80-85 %, причем укладку субстрата производят в бункер цилиндрической формы с сетчатым дном и мешалкой (рисунок 2), вводят в субстрат маточное поголовье червей, далее происходит миграция червей из менее питательной среды в более питательную, нужная температура поддерживается с помощью компрессора, соединенного с теплообменником и увлажнителем, в нижней части бункера расположен источник ИК-излучения, который подсушивает биогазус, готовый биогазус удаляют из нижних слоев, и в бункер подается свежий субстрат транспортером-распределителем, который находится в верхней части бункера, обеспечивая непрерывность процесса.

Совокупность существенных признаков обеспечивает упрощение способа производства биогазуса за счет того, что не требуется перераспределение вермикомпоста, что упрощает процесс, уменьшает затраченное на переработку время и энергозатраты, что в свою очередь увеличивает производительность производства, в целом исключает использование ручного труда, что способствует удешевлению производства биогазуса и получению продукта с высокими качественными характеристиками.

Установка состоит из бункера цилиндрической формы с источником ИК излучения 4. В верхней части установки расположен шнек 13 для загрузки

подготовленного субстрата. В нижней части через затвор 5 бункер соединен с выгрузным шнеком 12. Бункер соединен с компрессором 6 для нагнетания теплого увлажненного воздуха.

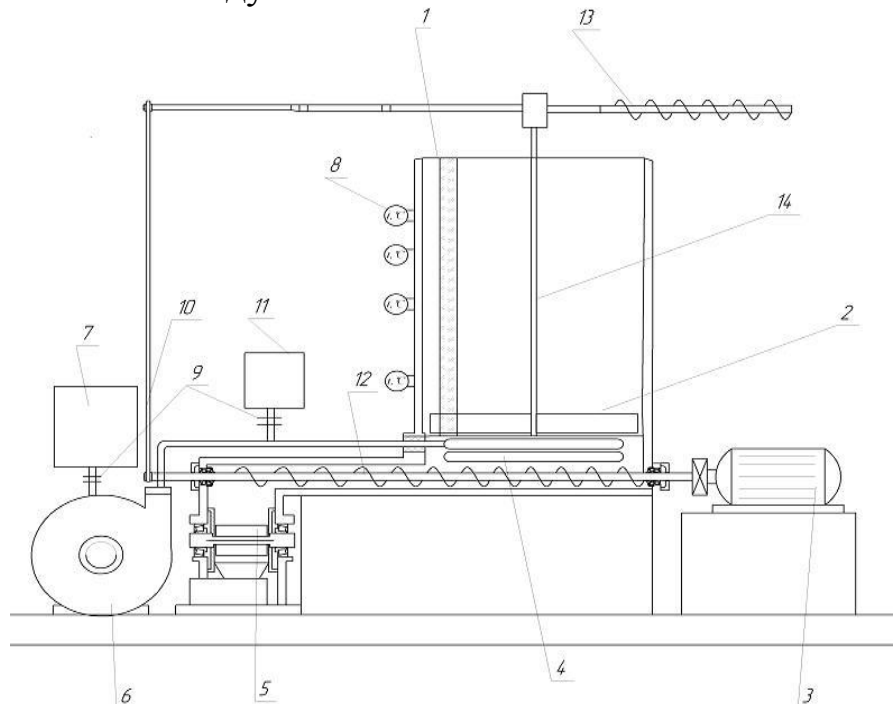


Рисунок 2 – Принципиальная схема установки для вермикомпостирования: 1 – прозрачная вставка; 2 – лопасти мешалки; 3 – привод шнека и конвейера; 4 – ИК-излучатель; 5 – затвор; 6 – компрессор; 7 – теплообменник; 8 – датчик температуры; 9 – электромагнитный клапан; 10 – ременная передача; 11 – увлажнитель; 12 – шнек выгрузки готового продукта; 13 – шнек загрузки субстрата; 14 – вал.

Температура и кислотность – важнейшие условия оптимальной работы красных калифорнийских червей в вермиореакторе, так как снижение данных показателей от заданных значений ведет к снижению выработки биогумуса, следствием чего будет снижение производительности установки.

Исследование проводили в 2011-2012 гг. на кафедре «Технологии и оборудование пищевых и перерабатывающих производств» ФГБОУ ВПО Ижевской ГСХА. Объектом исследования являлись красные калифорнийские черви вида *Eisenia foetida*. Предметом исследования являлся температурный, влажностный режимы и кислотность субстрата при процессе вермикомпостирования.

Субстрат для вермикомпостирования готовили из навоза крупного рогатого скота. Во время проведения экспериментов червей подкармливали также навозом крупного рогатого скота. Опыт по сравнительному изучению влияния температуры, влажности и кислотности на прирост количества особей красных калифорнийских червей вида *Eisenia foetida* проводили в емкостях одинакового размера. В соответствии со схемой проведения эксперимента предусматривалось изучение влияния температуры, влажности и кислотности на численность популяции красных калифорнийских червей. Динамику прироста коли-

чества особей определяли еженедельно в течение всего опыта, учитывая количество взрослых особей и молоди.

Для изучения и осуществления лабораторных исследований технологических параметров установки были разработаны экспериментальные емкости. Внешний вид установки представлен на рисунке 3.



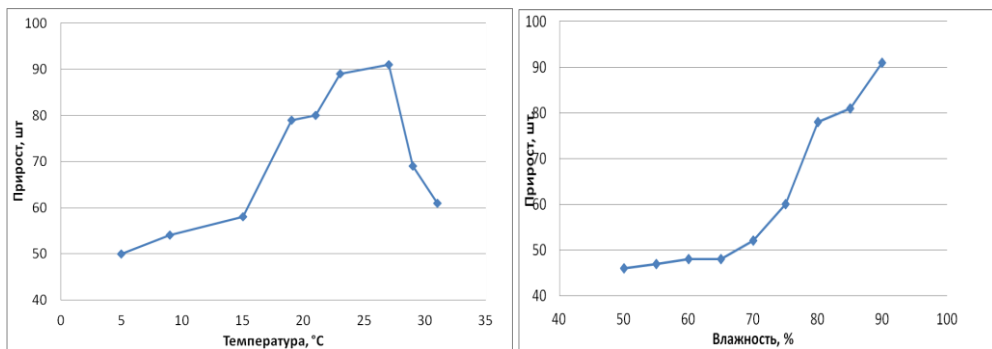
Рисунок 3 – Внешний вид экспериментальной емкости: 1 – бункер для вермикомпостирования; 2 – выгрузной поддон.

В результате исследований выявлено, что количество особей червей (y_i) зависит от следующих параметров процесса вермикомпостирования: температуры, влажности и кислотности субстрата.

$$y_i = f(T, W, pH), \quad (1)$$

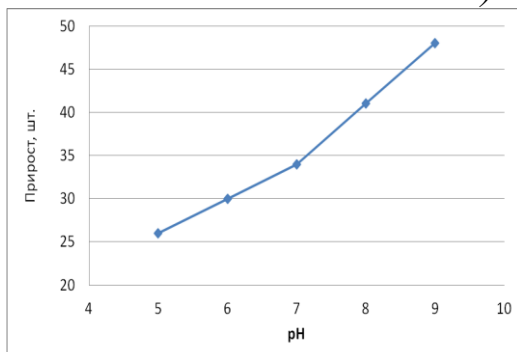
где T – температура субстрата, °C; W – влажность субстрата, %; pH – кислотность среды.

На рисунке 4 представлена зависимость количества особей червей от параметров процесса вермикомпостирования.



а)

б)



в)

Рисунок 4 – График количества особей червей от параметров: а) от температуры; б) от влажности; в) от кислотности.

Проведенные лабораторные исследования выявили оптимальные технологические параметры процесса вермикомпостирования: температура от 19 до 27⁰С, влажность 75-95%, кислотность не менее 6 ед.

Кроме того, были выявлены недостатки в выгрузном устройстве установки и предложен альтернативный вариант – создание неблагоприятных условий в требуемой отделяемой зоне готового продукта от червей.

В третьей главе «Обоснование гипотезы переноса биомассы червей в созданных неблагоприятных условиях» приведено теоретическое обоснование гипотезы, экспериментальное подтверждение гипотезы и разработана математическая модель процесса вермикомпостирования отходов.

Для проведения эксперимента был выявлен ряд параметров, изменение которых влияет на результат исследования. Связь этих параметров и их варьирование позволяет повысить эффективность работы вермиреактора и снизить энергозатраты.

Выдвинем гипотезу, что устанавливая неблагоприятные условия в активно работающей зоне червей, мы добьемся естественного сепарирования готового продукта от червей путем миграции червей из менее благоприятных условий в более благоприятные. Повышение температуры свыше 30⁰С может эффективно применяться для процесса сепарирования. Кроме того, одновременно с повышением температуры происходит снижение влажности, что также способствует естественной сепарации.

Для изучения и осуществления процесса инфракрасного нагрева субстрата разработана экспериментальная установка (рисунок 5).

Установка включает в себя:

- емкость с готовым продуктом и червями разных возрастов;
- источник инфракрасного излучения;
- термометр.

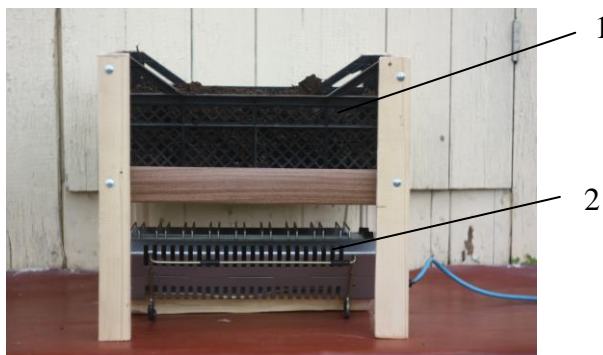


Рисунок 5 – Внешний вид установки: 1 – емкость с субстратом; 2 – источник ИК излучения.

В емкость помещали непереработанный субстрат с маточным поголовьем червей, создавали оптимальные условия для жизнедеятельности, начинался процесс вермикомпостирования. Спустя 7 дней включали источник инфракрасного излучения и измеряли температуры в слоях готового продукта на различной высоте. Также измеряли изменение влажности биогумуса в процес-

се нагрева субстрата. В конце сепарирования подсчитали количество особей погибших в ходе эксперимента.

Была определена динамика повышения температуры и снижения влажности в 10-см слое субстрата (рисунок 6).

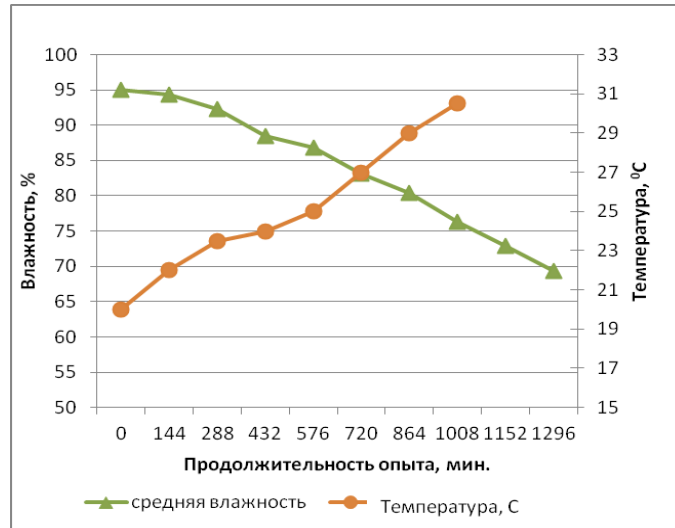


Рисунок 6 – Динамика прогрева готового продукта

Анализируя данную диаграмму, мы видим, что требуемая температура свыше 30°C в 10 см слое достигается примерно через 17 часов, влажность при этом снижается до 70 %, что оптимально для процесса переноса биомассы червей.

Таким образом, оптимальное время воздействия инфракрасного излучения на готовый продукт с червями – не менее 17 часов, так как при этой продолжительности создаются неблагоприятные температурные и влажностные условия.

Рассмотрим процесс тепломассопереноса при нагреве сырья.

Уравнения тепломассопереноса имеют вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 \mathcal{G}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathcal{G}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \mathcal{G}}{\partial z^2} \right) + \frac{q_v}{c\rho}, \\ \frac{\partial \mathcal{G}_d}{\partial \tau} = D \left(\frac{\partial^2 \mathcal{G}_d}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathcal{G}_d}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \mathcal{G}_d}{\partial z^2} \right) + D_T \left(\frac{\partial^2 \mathcal{G}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathcal{G}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \mathcal{G}}{\partial z^2} \right) \end{cases} \quad (2)$$

где $\mathcal{G} = t - t_c$ - избыточная температура для любой точки материала, К;

$\mathcal{G}_d = u - u_1$ - концентрация биогумуса для любой точки материала, $\text{кг}/\text{м}^3$;

a – коэффициент температуропроводности;

q_v – объемная плотность теплового потока, $\text{Вт}/\text{м}^3$;

D – коэффициент диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$;

D_T – коэффициент термодиффузии, $\text{м}^2/(\text{К} \cdot \text{с})$.

Граничные условия третьего рода с учетом размеров установки верми-компостирования, принятый нами в форме прямоугольного параллелепипеда и воздействия источника инфракрасного излучения имеют вид:

- в центре параллелепипеда при $\tau > 0$

$$\left(\frac{\partial \mathcal{G}}{\partial x}\right)_{x=0, \substack{0 \leq y \leq \delta_2 \\ 0 \leq z \leq \delta_3}} = 0, \quad \left(\frac{\partial \mathcal{G}}{\partial y}\right)_{y=0, \substack{0 \leq x \leq \delta_1 \\ 0 \leq z \leq \delta_3}} = 0, \quad \left(\frac{\partial \mathcal{G}}{\partial z}\right)_{z=0, \substack{0 \leq x \leq \delta_1 \\ 0 \leq y \leq \delta_2}} = 0; \quad (3)$$

- для поверхности при $\tau > 0$

$$\mp \lambda \left(\frac{\partial \mathcal{G}}{\partial x}\right)_{x=\pm \delta_1} = \alpha \mathcal{G}_{x=\pm \delta_1}, \quad \mp \lambda \left(\frac{\partial \mathcal{G}}{\partial y}\right)_{y=\pm \delta_2} = \alpha \mathcal{G}_{y=\pm \delta_2}, \quad \mp \lambda \left(\frac{\partial \mathcal{G}}{\partial z}\right)_{z=\pm \delta_3} = \alpha \mathcal{G}_{z=\pm \delta_3}; \quad (4)$$

- в центре параллелепипеда при $\tau > 0$

$$\left(\frac{\partial \mathcal{G}_d}{\partial x}\right)_{x=0, \substack{0 \leq y \leq \delta_2 \\ 0 \leq z \leq \delta_3}} = 0, \quad \left(\frac{\partial \mathcal{G}_d}{\partial y}\right)_{y=0, \substack{0 \leq x \leq \delta_1 \\ 0 \leq z \leq \delta_3}} = 0, \quad \left(\frac{\partial \mathcal{G}_d}{\partial z}\right)_{z=0, \substack{0 \leq x \leq \delta_1 \\ 0 \leq y \leq \delta_2}} = 0; \quad (5)$$

- для поверхности при $\tau > 0$

$$\mp D \left(\frac{\partial \mathcal{G}_d}{\partial x}\right)_{x=\pm \delta_1} = \beta \mathcal{G}_d_{x=\pm \delta_1}, \quad \mp D \left(\frac{\partial \mathcal{G}_d}{\partial y}\right)_{y=\pm \delta_2} = \beta \mathcal{G}_d_{y=\pm \delta_2}, \quad \mp D \left(\frac{\partial \mathcal{G}_d}{\partial z}\right)_{z=\pm \delta_3} = \beta \mathcal{G}_d_{z=\pm \delta_3}; \quad (6)$$

Начальные условия теплопереноса при $\tau > 0$ и $0 \leq x \leq \delta$

$$\mathcal{G} = \mathcal{G}_0 = t_0 - t_c, \quad (7)$$

Начальные условия массопереноса при $\tau = 0$ и $0 \leq x \leq \delta$

$$\mathcal{G}_d = \mathcal{G}_{d0} = u_0 - u_1 \quad (8)$$

ИК излучение в математической модели учтено через коэффициент теплоотдачи излучением

$$\alpha_n = \varepsilon \sigma_0 \frac{T_1^4 - T_2^4}{100^4 (T_1 - T_2)}, \quad (9)$$

где ε – приведённая степень черноты системы;

σ_0 – постоянная Стефана-Больцмана, равная $5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К);

T_1 – температура поверхности нагревателя (К),

T_2 – температура поверхности емкости субстрата (К).

Для учета живой биомассы червей в математической модели тепломас-сообмена используем следующую формулу:

$$q_v = \frac{E_n}{V \cdot \tau}, \quad (10)$$

где E_n – кинетическая энергия червей, Дж;

τ – время воздействия источника энергии, с.;

V – объем субстрата, м³.

Разработанная модель позволяет не прибегая к дорогостоящим экспериментам, связанным с приобретением нескольких ИК-излучателей различных

мощностей, рассчитать среднюю температуру нагреваемого материала в технологическом процессе вермикомпостирования отходов.

В четвертой главе «Экспериментальные исследования установки для процесса вермикомпостирования с ИК-излучателем» представлен технологический процесс вермикомпостирования навоза и обработка экспериментальных исследований при использовании инфракрасного нагрева.

По результатам теоретических и практических изысканий был разработан и изготовлен опытный образец установки для осуществления процесса вермикомпостирования, позволяющий реализовать технологические процессы, способствующие быстрому и эффективному отделению червей от готового продукта без их травмирования и с сохранением маточной популяции, а также дополнительной подсушке биогумуса.

Установка состоит (рисунки 7,8) из рабочей камеры прямоугольной формы с выгрузным поддоном в нижней части, тепловой рубашкой для поддержания оптимальных условий, ИК-нагревателем для отделения червей, перфорированными трубами для аэрации органических отходов, направляющими для движения поддона.

Подготовленные органические отходы закладываются в бункер прямоугольной формы 1, который в нижней части имеет выгрузной поддон 2. Заселяется маточной культурой червей, начинается процесс переработки органических отходов. Оптимальные условия поддерживаются с помощью тепловой рубашки 3. В выгрузном поддоне находится ИК-нагреватель 4.

Выгрузной поддон состоит из двух одинаковых частей. Ширина одной части поддона должна быть равна ширине бункера. В каждой части поддона находится ИК-нагреватель 4. Кроме того, по периметру каждой части поддона располагаются перфорированные трубы 5 для аэрации. Движение поддона происходит по направляющим 6.

Процесс вермикомпостирования достигается в способе переработки органических отходов (в качестве органических отходов используют навоз крупного рогатого скота, нейтрализованный до pH 7-8) и маточное поголовье красных калифорнийских червей вида *Eisenia foetida* в количестве не менее 250 тыс.шт/м³, при этом бункер первоначально должен быть заполнен на высоту не более 20 см. Через определенное время повторяется операция закладки органических отходов в бункер, при этом общее количество органических отходов в бункере не должно превышать высоту равную 80 см. При этом происходит естественная миграция червей из менее питательной среды в более питательную.

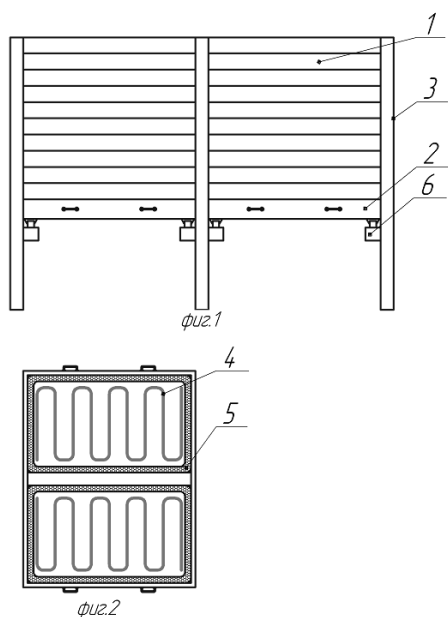


Рисунок 7 – Схема экспериментальной установки: 1 – бункер; 2 – выгрузной поддон; 3 – тепловая рубашка; 4 – ИК-излучатель; 5 – перфорированные трубы; 6 – направляющие



Рисунок 8 – Внешний вид лабораторной установки

Оптимальные температурные условия поддерживаются с помощью тепловой рубашки, влажностный режим поддерживается посредством полива. ИК-нагреватель позволяет отделять оставшихся червей от готового биогумуса путем повышения температуры на дне бункера до неприемлемой для жизнедеятельности червей, вместе с тем происходит дополнительная подсушка готового биогумуса.

После добавления свежих органических отходов и отделения оставшихся червей от готового биогумуса, производится выгрузка биогумуса из установки посредством передвижения поддона. В одной части поддона остается 20-см слой готового биогумуса, а в другую часть поддона опускается слой переработанных органических отходов с червями. Далее цикл переработки повторяется.

На основании экспериментальных данных мы разделяем процесс нагрева на 3 этапа: нагрев от 10 до 20⁰ С для обеспечения благоприятных условий жизнедеятельности червей, поддержка 20⁰С на протяжении времени вермикомпостирования и повышение температуры от 20 до 30⁰ С для разделения готового продукта и биомассы червей.

По результатам экспериментальных исследований и теоретических расчетов на первом этапе процесса нагрева (рисунок 9) нужно добиться температуры 20⁰ С, что согласно рисунку составит 3 часа. На третьем этапе процесс нагрева идет до 30⁰ С (рисунок 10), что согласно данным составит 1008 мин.

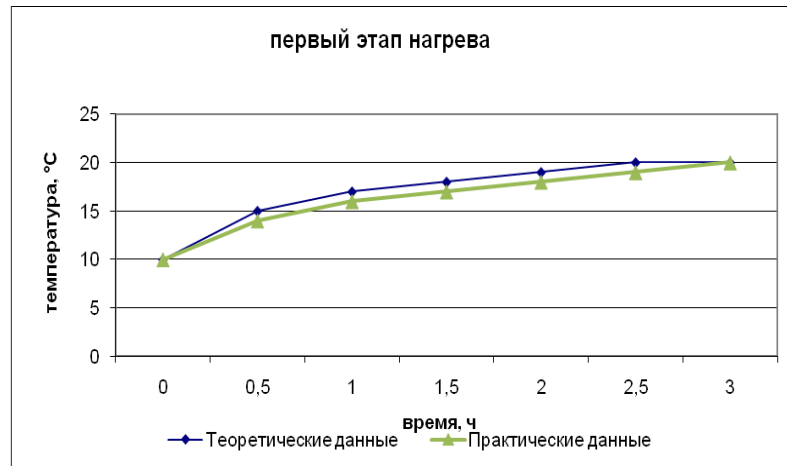


Рисунок 9 – Зависимость температуры субстрата от времени нагрева на первом этапе технологического процесса

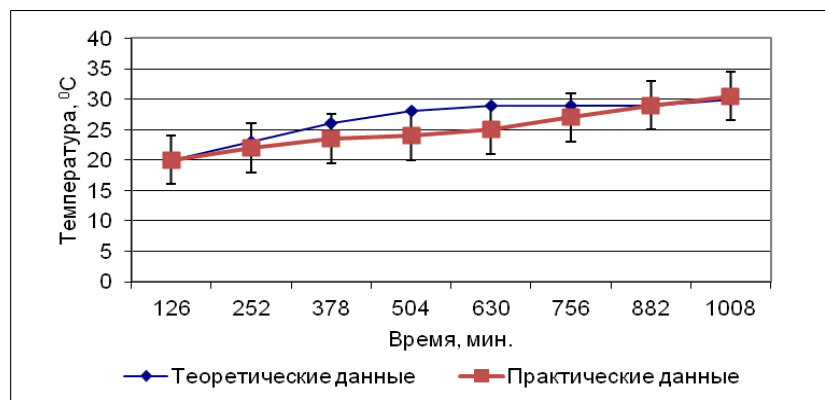


Рисунок 10 – Зависимость температуры субстрата от времени нагрева на втором этапе технологического процесса

Адекватность математических расчетов была проверена с помощью построения доверительного интервала по критерию Стьюдента и сравнения дисперсий по критерию Фишера. Адекватность разработанной модели позволяет использовать ее для обоснования режимов установки.

Об успешности процесса переноса биомассы червей мы можем судить по количеству выживших взрослых особей червей и молоди, сравнив эти данные с данными по смертности при обычном способе сепарирования (рисунок 11).

Проведя анализ данной диаграммы, можно сделать вывод, что процент смертности взрослых особей по разработанной технологии сепарирования снижается на 25 % по отношению к существующим способам сепарирования. Процент смертности среди мальков снижается на 60 %.

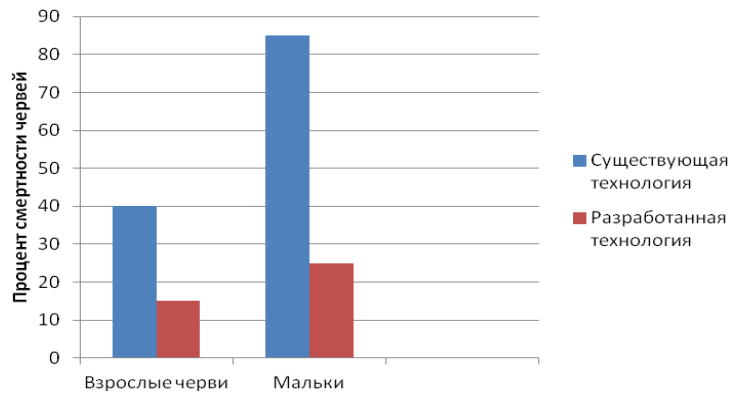


Рисунок 11 – Сравнительная диаграмма смертности червей

Таким образом, снижение смертности среди маточного поголовья червей свидетельствует об успешности данной разработанной технологии.

В пятой главе «Экономическое обоснование разработанной технологии и установки» дана оценка эффективности результатов исследования (таблица 1).

Экономическая эффективность была рассчитана на установку с объемом вермиореактора 7,44 м³ с годовой производительностью 19819, 44 кг/год биогумуса и 824,71 кг/год биомассы червей.

Таблица 1 – Техничко-экономические показатели проекта

№ п/п	Показатель	Ед.измерения	Существующая технология	Разработанная технология
1.	Реализационная цена биогумуса	Руб./т	10000	8000
2.	Реализационная цена биомассы червей	Руб./т	320000	150000
3.	Себестоимость биогумуса	Руб./т	6392	3760
4.	Себестоимость биомассы червей	Руб./т	83288	57440
5.	Годовая валовая прибыль	Руб.	-	160331,43
6.	Чистая прибыль в год	Руб.	-	128265,14
7.	Капитальные затраты	Руб.	-	345000
8.	Срок окупаемости	Лет	-	2,7

Проведя анализ таблицы 1, можно сделать вывод, что по разработанной технологии себестоимость биогумуса снижается на 41,2%, биомассы червей на 31 %. Таким образом, полученная продукция по разработанной технологии будет более конкурентоспособной по сравнению с аналогами. Срок окупаемости установки составляет 2,7 года.

Также была рассчитана энергоемкость процесса, она составляет 12,4 руб/т биогумуса.

ВЫВОДЫ

1. Разработана технология вермикомпостирования с помощью красных калифорнийских червей вида *Eisenia foetida*, отличительной особенностью которой является гораздо меньшее время, затрачиваемое на переработку отходов сельскохозяйственного производства. Определены оптимальные технологические условия для жизнедеятельности червей: температура 19-27⁰ С, влажность 75-95%, кислотность не менее 6 ед, свежий слой субстрата не менее 10 см, оптимальная плотность заселения червей 250 тыс.шт/м³.

2. Разработана математическая модель процесса вермикомпостирования отходов на основе решения задачи тепломассопереноса с учетом биомассы червей и инфракрасного излучения. Реализация разработанной модели позволяет выявить оптимальные режимы нагрева: на 1 этапе нагрев производится до 20⁰ С за 3 часа, на 3 этапе до 30⁰ С за 17 часов.

3. Разработана конструкция вермиореактора с инфракрасным излучателем, позволяющая реализовать технологию вермикомпостирования отходов, позволяющая уменьшить затраченное на вермикомпостирование время и снизить энергозатраты, что, в конечном счете, способствует удешевлению производства биогумуса на 41,2%, биомассы червей на 31%.

4. Экономический эффект от применения данной установки на сельскохозяйственных предприятиях составит 128265,14 руб в год при сроке окупаемости 2,7 года.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

Журналы, указанные в перечне ВАК:

1. Выгузова М.А. Разработка технологии производства биогумуса в установке непрерывного действия / М.А.Выгузова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. - №81(07) С. 43 – 53. – IDA [article ID]: 0811207004. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/07/pdf/04.pdf>.

2. Выгузова М.А. Исследование технологии утилизации отходов в сельскохозяйственном производстве / М.А. Выгузова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №01(085). С. 1 – 11. – IDA [article ID]: 0851301001. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/01/pdf/01.pdf>.

3. Выгузова М.А. Использование технологии вермикомпостирования в сельском хозяйстве / М.А.Выгузова, С.А Линкевич, В.В.Касаткин, Н.Ю.Литвинюк // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2012. - №7, с.11-13.

4. Выгузова М.А. Перспективы развития технологии вермикомпостирования в России и за рубежом / М.А.Выгузова, С.А.Линкевич, В.В.Касаткин, Н.Ю.Литвинюк // Пищевая промышленность, 2012. - №8, с.24-26.

Патенты:

5. Пат.№2493139 Российская Федерация, МПК С05F11/00. Способ производства биогумуса с помощью красного калифорнийского червя и установка для реализации способа / М.А.Выгузова, В.В.Касаткин, Н.Ю.Литвинюк, И.Л.Выгузов, А.С.Линкевич, Ф.Р.Арсланов, заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА. - №2011151244/13; заявлено 14.12.2011, опубл.20.09.2013.

Другие издания:

6. Касаткин В.В. Подбор оборудования участков вермикультивирования и энергопреобразования в линии переработки помета в удобрение / В.В.Касаткин, Н.Ю.Литвинюк, С.А.Вахрушев, А.В.Евсеев, Н.Ф.Ушакова, М.А.Выгузова // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2010. № 2. С. 67-69.

7. Касаткин В.В. Обоснование технологической схемы линии переработки помета в удобрение / В.В.Касаткин, С.М.Игнатъев, Н.Ю.Литвинюк, С.А.Линкевич, М.А.Выгузова // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2010. № 2. С. 70-73.

8. Выгузова М.А. Преимущества и недостатки существующих способов вермикомпостирования / М.А. Выгузова, А.А. Шакирова // Инновационному развитию АПК и аграрному образованию - научное обеспечение : материалы Всероссийской научно-практической конференции (Ижевск, 14-17 февр. 2012 г.). Том III. С. 215-218.

9. Выгузова М.А. Разработка структурной схемы линии вермикомпостирования / М.А. Выгузова // Сборник научных трудов IV Международной научно-практической конференции Молодых ученых (23 апреля 2012 г.). – 2012, С.234-236.

10. Выгузова М.А. Проблема переработки отходов в сельском хозяйстве / М.А. Выгузова // Актуальные проблемы науки и образования: прошлое, настоящее, будущее: сборник научных трудов по материалам Международной заочной научно-практической конференции 29 марта 2012 г. Часть 2. – Тамбов, 2012, С. 25-26.

11. Кудряшова А.Г. Перспективы развития комплекса по переработке органических отходов в РФ / А.Г. Кудряшова, М.А. Выгузова // Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции «Республика Казахстан и Евразийское экономическое сообщество: сотрудничество во имя прогресса», 2012 г., С.256-258.

12. Выгузова М.А. Анализ экономической эффективности использования биогумуса на сельскохозяйственных предприятиях / М.А. Выгузова, А.А. Шакирова // Инновационные технологии в сельскохозяйственном производстве,

пищевой и перерабатывающей промышленности: материалы Международной научно-практ.конференции. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2013. – С.78-81.

13. Кудряшова А.Г. Разработка комплекса для утилизации органических отходов / А.Г.Кудряшова, М.А.Выгузова // Eurasia Green: материалы Международ.конкурса науч.-исслед.проектов молодых ученых и студентов. – Екатеринбург: Изд-во Урал.гос.экон.ун-та, 2013 г. – С.37-38.

14. Выгузова М.А. Вермикомпостирование как биотехнологическая основа безопасности продуктов питания / М.А. Выгузова // Продовольственная безопасность: материалы Международ.конкурса науч.-исслед.проектов молодежи. – Екатеринбург: Изд-во Урал.гос.экон.ун-та, 2013 г. – С.72-73.

15. Выгузова М.А. Комплекс по переработке органических отходов сельскохозяйственных предприятий и пищевых производств / М.А. Выгузова, Т.С. Копысова, А.Г. Кудряшова, А.Б. Спиридонов, Н.Ф. Ушакова // Министерство сельского хозяйства РФ. – Научно-техническое и инновационное развитие АПК России, 2013 г. С. 75-78.

